



## Une approche ontologique pour formaliser la connaissance experte dans le modèle du contrôle de conformité en construction.

Anastasiya Yurchyshyna, Catherine Faron Zucker, Isabelle Mirbel, Birahim Sall, Nhan Le Thanh, Alain Zarli

### ► To cite this version:

Anastasiya Yurchyshyna, Catherine Faron Zucker, Isabelle Mirbel, Birahim Sall, Nhan Le Thanh, et al.. Une approche ontologique pour formaliser la connaissance experte dans le modèle du contrôle de conformité en construction.. 19es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances (IC 2008), Jun 2008, Nancy, France. pp.49-60. hal-00416687

**HAL Id: hal-00416687**

**<https://hal.science/hal-00416687>**

Submitted on 14 Sep 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Une approche ontologique pour formaliser la connaissance experte dans le modèle du contrôle de conformité en construction

Anastasiya Yurchyshyna<sup>1,2</sup>, Catherine Faron-Zucker<sup>2</sup>, Isabelle Mirbel<sup>2,3</sup>, Birahim Sall<sup>2</sup>, Nhan Le Thanh<sup>2</sup> et Alain Zarli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CSTB

290 route des Lucioles, BP 209, 06904 Sophia Antipolis, France  
{anastasiya.yurchyshyna, alain.zarli}@cstb.fr

<sup>2</sup> I3S, Université de Nice Sophia-Antipolis, CNRS

930 route des Colles, BP 145, 06903 Sophia Antipolis, France  
{Catherine.Faron-Zucker, isabelle.mirbel,  
birahim.sall, Nhan.Le-Thanh}@unice.fr

<sup>3</sup> INRIA, 2004 Route des Lucioles, BP 93, 06902 Sophia Antipolis, France

**Résumé :** Cet article présente un modèle pour le contrôle semi-automatique de la conformité d'un projet de construction par rapport aux normes du bâtiment. Les projets de construction sont décrits par des graphes RDF et les normes par des requêtes SPARQL. Notre approche se base sur l'appariement des représentations des requêtes de conformité avec celles des projets de construction, en prenant en compte des connaissances ontologiques. Elle vise à la production d'un bilan de conformité - sur la base de l'interprétation du résultat de cet appariement - qui explique les raisons éventuelles de non-conformité. L'efficacité de notre approche repose d'une part sur l'extraction des connaissances du domaine guidée par ce but spécifique de contrôle de conformité. D'autre part, notre modèle intègre des connaissances expertes sur le processus de contrôle qui prennent la forme d'une base d'annotations des requêtes de conformité et d'une organisation de la base de requêtes permettant leur ordonnancement dans le processus de contrôle.

**Mots-clés :** contrôle de conformité, ontologies dans la construction, web sémantique, annotation des projets de construction, annotation et organisation d'une base de requêtes

## 1 Introduction

Cet article présente C3R, un modèle pour le contrôle semi-automatique de la conformité d'un projet de construction (e.g. un bâtiment public, une maison individuelle, une route) par rapport aux normes techniques du bâtiment en vigueur. Les projets de construction sont maintenant communément décrits dans le modèle standard IFC (Industry Foundation Classes) du BIM (Building Information Modeling)

développé par l'IAI<sup>1</sup>. IFC est un modèle de données orienté objets qui définit des classes d'objets relatives au domaine du bâtiment: il permet de représenter les objets du bâtiment tout au long de leur cycle de vie (des composants tels que : portes, murs, etc. mais aussi d'autres objets tels que : organisation, processus, etc.). Le modèle IFC est spécifié dans le langage EXPRESS, conforme à la norme ISO 10303-11, dite STEP-21. Les échanges de données s'effectuent en STEP ou en ifcXML<sup>2</sup>, le langage XML pour IFC. Ainsi, pour chaque projet de construction nous disposons d'une représentation en ifcXML, directement générée ou convertie de données STEP par les outils de CAO dédiés à l'architecture (e.g. AutoCAD).

Dans la perspective d'une automatisation du contrôle de la conformité d'un projet de construction par rapport à un ensemble de normes techniques, IFC ne permet pas de représenter toute les connaissances relatives à un projet (Yurchyshyna et al., 2007). Afin d'augmenter l'expressivité des données représentées, nous adoptons une approche ontologique pour la représentation des connaissances de construction. Premièrement, nous construisons une ontologie dite de contrôle de conformité à partir des classes du modèle IFC. Le choix des classes IFC que nous considérons pour construire cette ontologie est guidé par les concepts que l'on retrouve dans les normes techniques du bâtiment. Ensuite, nous construisons une représentation RDF d'un projet de construction par transformation (XSLT) de sa représentation ifcXML, basée sur l'ontologie du contrôle de conformité : seule l'information *utile* au contrôle de conformité est ainsi extraite.

En ce qui concerne les normes techniques de construction, elles sont souvent disséminées sous forme papier (e.g. textes, diagrammes, plans). L'intervention humaine est donc indispensable, afin de les rendre accessibles électroniquement, interopérables et compréhensibles par des machines (Lima et al., 2006). Dans le contexte de nos travaux, nous travaillons à partir d'une base de représentations semi formelles de normes d'accessibilité des bâtiments construite avec des experts du CSTB<sup>3</sup> et nous modélisons ces normes techniques par des requêtes dites de conformité, basées sur l'ontologie du contrôle de conformité et formalisées dans le langage SPARQL. C'est la connaissance exprimée dans ces requêtes qui guide le processus d'extraction de la représentation utile d'un projet de construction, en définissant quels éléments de sa représentation ifcXML sont réellement utilisés dans le processus de contrôle et donc doivent être ajoutés dans sa représentation RDF.

Notre approche du contrôle de conformité se base sur l'appariement des représentations des requêtes de conformité et de celles des projets de construction, en prenant en compte des connaissances ontologiques. Elle vise à la production d'un bilan de conformité - sur la base de l'interprétation du résultat de cet appariement - qui explique les raisons éventuelles de non-conformité. L'efficacité de notre approche repose d'une part sur l'extraction des connaissances du domaine guidée par ce but spécifique de contrôle de conformité (Faron-Zucker et al., 2008). D'autre part, notre modèle intègre des connaissances expertes sur le processus de contrôle qui prennent la

---

<sup>1</sup> International Alliance for Interoperability, [www.iai-international.org/](http://www.iai-international.org/)

<sup>2</sup> [www.iai-international.org/Model/IFC\(ifcXML\)Specs.html](http://www.iai-international.org/Model/IFC(ifcXML)Specs.html)

<sup>3</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

forme d'une base d'annotations des requêtes de conformité (e.g. type de textes réglementaires, domaine d'application, etc.) et d'une organisation de la base de requêtes permettant leur ordonnancement dans le processus de contrôle et contribuant à l'explication des résultats du processus de contrôle, en particulier en cas d'échec.

Dans la section suivante nous analysons le problème du contrôle de conformité en construction. Après avoir décrit la représentation des connaissances utilisées dans le processus de contrôle (sections 3-6), nous présentons notre modèle de contrôle de conformité (sections 7-10) et le système C3R destiné à valider ce modèle (section 11).

## **2 Analyse du problème du contrôle de conformité en construction**

Le problème du contrôle de conformité en construction est complexe et pluridisciplinaire. Dans ce travail, nous le restreignons à trois domaines de recherche.

Premièrement, il s'agit d'un problème de développement d'une représentation *intelligente* standardisée d'un projet de construction. Parmi les travaux en cours dédiés à ce problème – sans s'intéresser cependant au problème particulier du contrôle de conformité – nous pouvons citer ceux visant la construction d'une ontologie buildingSMART (Bell et Bjorkhaus, 2006) et ceux visant l'évolution du standard IFC pour intégrer la représentation d'une ontologie, guidée par les besoins d'interopérabilité d'ifcXML (Aranda-Mena et Wakefield, 2006).

Deuxièmement, notre raisonnement sur le contrôle est basé sur une approche par homomorphisme de graphes et nos travaux se rapprochent en ce sens de ceux sur la validation de (Dibie-Barthélemy et al., 2004). Leur travail est consacré au problème de la validation de bases de connaissances construites sur le modèle des graphes conceptuels (Sowa, 1984). Les auteurs identifient deux types de validation sémantique : des contraintes négatives représentent de la connaissance qui ne doit pas se trouver dans la base de connaissances et, inversement, les contraintes positives représentent celle qui doit s'y trouver.

Troisièmement, nous proposons une approche de la (semi)formalisation de la connaissance experte et de son intégration dans le processus de contrôle. Ce travail se base essentiellement sur la modélisation des expériences de terrain et nécessite des interactions avec des experts de construction.

## **3 Représentation des connaissances**

Dans la perspective d'un service électronique de régulation disponible sur le web, nous adoptons les langages du web sémantique (Berners-Lee, 2001) pour représenter toutes les connaissances relatives au contrôle de conformité en construction. Il s'agit de représenter un projet de construction, des normes techniques du bâtiment, une ontologie du contrôle de conformité ainsi que des connaissances expertes permettant de guider le processus de contrôle.

### 3.1 Formalisation des règles techniques par des requêtes de conformité

Dans un premier temps, notre travail est dédié au problème de l'explicitation des connaissances formelles sur les normes techniques du bâtiment. En fait, cette tâche ne constitue pas le cœur de notre recherche : nous ne nous intéressons pas ici au problème d'extraction de connaissances à partir de textes réglementaires. Afin de valider notre modèle, nous développons une base de requêtes de conformité relatives à l'accessibilité des bâtiments : les contraintes d'accessibilité sont explicitées manuellement par des experts du CSTB et à partir de documentations techniques. Nous formalisons ces requêtes d'accessibilité sous forme de requêtes SPARQL.

Le processus d'extraction de règles techniques des normes de conformité comprend deux étapes. Premièrement, il s'agit de construire une ontologie orientée contrôle de conformité. Cette ontologie est extraite automatiquement à partir des classes/propriétés du modèle IFC qui interviennent dans les représentations des requêtes de conformité. Elles définissent des classes/propriétés primitives de l'ontologie de contrôle de conformité correspondant au modèle IFC. Le résultat de cette étape est la construction d'une hiérarchie de concepts primitifs dans le langage RDFS.

Si les descriptions des normes de conformité contiennent des concepts non IFC, nous les définissons comme des spécialisations de concepts primitifs déjà présents dans l'ontologie. Cette phase est faite en collaboration avec un expert du domaine qui aide à formuler les règles définissant de nouvelles classes (classes *définies*) sur la base des classes *primitives*. Nous proposons de représenter chaque règle par un couple de graphes RDF, l'une prémisses et l'autre conclusion de la règle. Par exemple, la règle de (Fig. 1) permet de *définir* la classe *RezDeChaussee* à partir des concepts *primitifs* d'étage *IfcBuildingStorey* et du niveau d'entrée *pset\_Building Storey Common\_Entrance Level* (*RezDeChaussee* est un étage situé à un niveau permettant d'entrer dans un bâtiment).

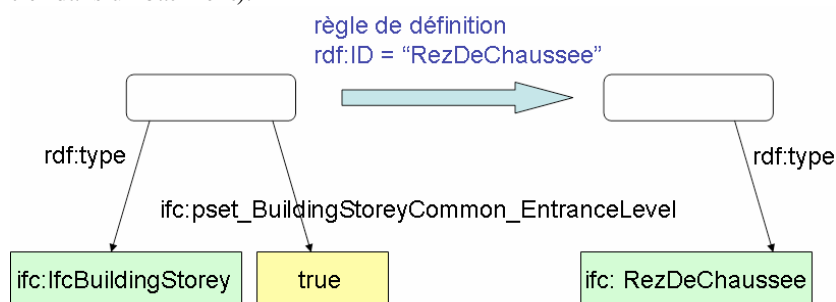


Fig. 1 – Définition du concept de rez-de-chaussée par une règle de graphes RDF

Cela nous permet donc d'enrichir l'ontologie du contrôle de conformité par des concepts qui n'étaient pas initialement décrits dans le modèle IFC, mais qui sont réellement utilisés dans le processus de contrôle de conformité. Cette ontologie guide ainsi le processus d'acquisition de la représentation utile d'un projet de construction en définissant quelles connaissances sont indispensables pour vérifier sa conformité.

Dans un deuxième temps, nous modélisons une norme de bâtiment par un ensemble des requêtes de conformité. Il existe deux types de norme à modéliser :

- 1 le premier exprime des faits qui doivent toujours être vérifiés, comme par exemple : « *La largeur minimale des portes doit être 90 cm* ». Cette norme est applicable à tous les types des portes d'un bâtiment.
- 2 Le deuxième décrit des faits qui doivent être vérifiés seulement si certaines conditions sont vérifiées. Par exemple, la contrainte « *Dans les bâtiments comportant plusieurs halls d'entrée, tous les halls d'entrée doivent être accessibles* » est modélisée par deux requêtes :
  - 2.1 une contrainte *positive* exprimant la contrainte d'*existence* d'un élément « *hall d'entrée* ».
  - 2.2 si cette contrainte est satisfaite, il faut vérifier l'*accessibilité* d'un élément « *hall d'entrée* ». Pour ce faire, nous définissons une contrainte de conformité *négative* dont le résultat précisera la *non-conformité* de cet élément.

Formellement, cette norme est représentée par un couple des requêtes SPARQL :

1. une requête SPARQL positive exprimant la contrainte d'applicabilité :

```
SELECT ?building WHERE {  
  ?building rdf:type ifc:IfcBuilding  
  ?building ifc:containsElement ?hall  
  ?hall rdf:type ifc:EntranceHall  
}
```

2. une requête SPARQL négative précisant des éléments non-conformes :

```
SELECT ?building display rdf WHERE {  
  ?building rdf:type ifc:IfcBuilding  
  OPTIONAL  
  { ?building ifc:containsCorrespondingElement ?hall  
    FILTER (?hall = ifc:AccessibleEntranceHall) }  
  FILTER (! bound(?hall) ) }  
}
```

### 3.2 Extraction de la représentation utile d'un projet de construction

Les projets de construction dont nous disposons au CSTB sont décrits dans le modèle IFC, dans le format ifcXML. En fait, de telles descriptions contiennent davantage d'information que nécessaire pour notre but spécifique de contrôle.

C'est pourquoi, l'étape suivante de notre travail est destinée à l'extraction d'une représentation d'un projet de construction *utile*, c'est-à-dire sémantiquement plus riche que les données IFC et ne contenant que les éléments utiles au processus de contrôle. Cette représentation est automatiquement extraite à partir des données ifcXML et basée sur l'ontologie du contrôle de conformité.

Plus précisément, nous extrayons une représentation RDF d'un projet de construction à partir de la transformation syntaxique des données ifcXML de ce projet : une feuille XSLT permet cette transformation. Une telle transformation automatique pourrait conserver toutes les entités présentes dans la description IFC

d'un projet et les relations entre elles. Nous ne conservons ici que la partie de la description utile au contrôle de conformité : cela est défini par des concepts utilisés pour la représentation formelle des requêtes SPARQL. Le choix de ces requêtes est fait par un utilisateur en fonction des contraintes de conformité que les projets de construction doivent satisfaire. De fait, nous ne conservons de la transformation XSLT des données ifcXML que les triplets RDF qui font intervenir des concepts présents dans ces requêtes et, par conséquent, dans l'ontologie de contrôle de conformité. Toute connaissance supplémentaire serait inutile à l'appariement des requêtes SPARQL représentant les normes avec les annotations RDF représentant les projets.

La représentation RDF d'un projet de construction extraite par transformation XSLT de données ifcXML est ensuite enrichie automatiquement par l'application en chaînage avant des règles de définition développées dans l'étape précédente. C'est ce qui pourra rendre possible l'appariement de la représentation d'un projet avec celle d'une règle lorsque celle-ci fait intervenir des concepts non IFC. Par exemple, la règle présentée en section 3.1 (Fig. 1) définissant un rez-de-chaussée permettra d'introduire le concept de rez-de-chaussée dans la description d'un projet de bâtiment dont un étage est situé à un niveau permettant d'entrer dans ce bâtiment.

### 3.3 Annotation et classification des requêtes de conformité

Afin de pouvoir raisonner en utilisant des connaissances expertes concernant des contraintes de conformité qui sont difficilement extraites des normes techniques, nous proposons d'organiser des requêtes de conformité sous forme d'une base de requêtes. Pour cela, nous définissons une annotation supplémentaire de ces requêtes permettant également de formaliser et d'y intégrer des connaissances expertes. Nous décrivons chaque requête de conformité par une annotation RDF contenant de l'information sur :

1. les caractéristiques du texte réglementaire à partir duquel la requête est extraite,
2. les caractéristiques d'extraction,
3. les connaissances formalisant des connaissances expertes et
4. le contexte d'application d'une requête.

Le premier groupe de caractéristiques concerne essentiellement le document réglementaire initial. Pour annoter des requêtes de conformité, nous nous intéressons aux caractéristiques suivantes :

1. la thématique (e.g. accessibilité, acoustique, thermique, etc.),
2. le type de texte réglementaire (e.g. norme DTU, circulaire, code),
3. le titre complexe comportant de l'information sur le nom, le domaine d'application, l'actualité du texte, les références réglementaires, etc.,
4. la date de publication précisant la validité de ce texte réglementaire et
5. le niveau d'application du texte (e.g. arrêté préfectoral, municipal).

Le deuxième groupe spécifie les caractéristiques des requêtes venant du processus d'extraction à partir d'un seul texte réglementaire :

1. l'article et le paragraphe d'extraction et
2. le numéro courant d'une requête extraite de ce paragraphe.

Les connaissances expertes sont formalisées par des caractéristiques du troisième groupe. Il s'agit de formaliser des connaissances tacites sur le processus de contrôle de conformité de type « common knowledge ». Elles sont communément appliquées par des experts. Ce sont des connaissances sur le sous domaine d'un texte réglementaire à analyser (e.g. il faut chercher des contraintes concernant les installations sanitaires dans le Code de la Construction et de l'Habitation, ainsi que dans le Code de la Santé Publique) ou sur les sous-classes des bâtiments à vérifier (e.g. Installations Industrielles Classifiées).

Le quatrième groupe précise des critères du contexte d'application des requêtes de conformité qui sont spécifiques pour certains types d'usage. Par exemple, les exigences sur la hauteur maximale des mains courantes d'escalier qui sont de 96 cm pour les adultes et de 76 cm (si possible des deux côtés) pour les enfants. Dans ce cas, afin de vérifier la conformité d'un bâtiment par rapport à cette requête, il est indispensable de connaître la destination du bâtiment (e.g. « école primaire »).

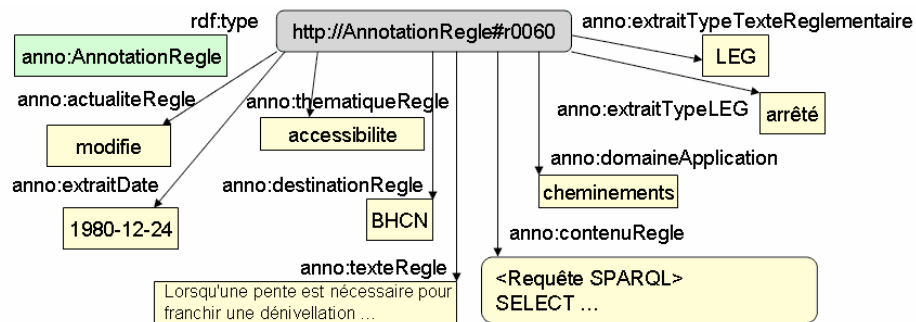


Fig. 2 – Exemple d'une annotation RDF d'une requête de conformité

Toutes ces caractéristiques sont utilisées pour décrire des requêtes de conformité à l'aide d'annotations RDF et pour les organiser sous forme d'une base de requêtes. Un exemple d'annotation est présenté sur (Fig. 2).

## 4 Modélisation du processus de contrôle de conformité

Dans notre approche, le processus de contrôle de conformité en construction consiste en l'appariement des représentations des normes avec celles des projets de construction. Afin de minimiser la quantité des appariements à réaliser, nous définissons des algorithmes d'ordonnancement qui exploitent la base de requêtes de conformité classifiées. Les résultats du processus de validation par l'appariement sont ensuite interprétés en termes de conformité en construction et un rapport de conformité est généré.



#### 4.1 Validation par projection

Le mécanisme de raisonnement élémentaire mis en œuvre dans le modèle de contrôle de conformité que nous proposons est celui de l'appariement de la représentation d'une norme avec celle d'un projet de construction. Il s'agit donc de l'appariement d'une requête SPARQL avec une annotation RDF, précédé, dans le cas où il existe des conditions d'application de la norme, par l'appariement entre l'annotation RDF représentant ces conditions et celle représentant le projet. Ces opérations d'homomorphisme de graphes sont maintenant bien connues et nous nous reposons sur les travaux de (Baget, 2005) et (Corby et al., 2006).

Dans ce but, dans notre travail, nous utilisons le moteur sémantique CORESE<sup>4</sup> développé à l'INRIA (Corby et al., 2006). Il offre une implémentation des langages RDF, RDFS et SPARQL et les mécanismes de raisonnement reposent sur une représentation interne des connaissances ontologiques et assertionnelles dans le modèle des graphes conceptuels (Chein & Mugnier, 1992), (Berners-Lee, 2001). Il permet de chercher les réponses à une requête SPARQL relativement à une base RDF, en prenant en compte des connaissances ontologiques représentées en RDFS (Corby & Faron-Zucker, 2007). Il est en outre muni d'un moteur d'application de règles d'inférence en chaînage avant qui permettent de compléter une base de faits RDF à l'aide de règles de définition représentées sous la forme de couples de graphes RDF.

Dans le contexte du contrôle de conformité en construction, un projet de construction est valide par rapport à une requête de conformité, si sa représentation RDF est une réponse à cette requête décrite en SPARQL. Dans le cas contraire, les parties des graphes non projetables correspondent à des éléments non conformes.

#### 4.2 Formalisation du raisonnement expert sur le processus de contrôle

Nous avons explicité auprès d'experts du CSTB un ensemble de règles dites expertes pour procéder au contrôle de conformité d'un projet de construction. Elles reposent sur l'organisation de la base de requêtes.

Cette organisation permet de définir un ordre de traitement des requêtes en fonction des priorités existantes entre les classes de requêtes et les connaissances supplémentaires spécifiant les requêtes. Les idées schématisant notre approche de la formalisation du raisonnement expert sont les suivantes :

1. Dans une classification portant sur des textes réglementaires décrits selon différents critères, l'ordre de traitement reflète les *classes de ces requêtes*. Par exemple, la priorité est donnée à celles qui sont extraites des lois, puis des décrets, puis des arrêtés, puis des circulaires (critère de « *type de texte réglementaire* ») ; les arrêtés préfectoraux sont prioritaires sur les arrêtés municipaux (critère de « *niveau d'application* »).
2. Au sein d'une même classe de requêtes, les requêtes prioritaires sont celles qui expriment des *connaissances plus spécialisées*. Dans les

---

<sup>4</sup>

Conceptual Resource Search Engine, <http://www-sop.inria.fr/acacia/soft/corese>

termes de la théorie des graphes, la requête prioritaire est celle dont le *graph pattern* est une spécialisation d'un *graph pattern* d'une autre requête. Par exemple, une requête relative à une porte d'entrée est prioritaire sur une requête relative à une porte (une porte d'entrée est une spécialisation d'une porte) car en cas de non-conformité par rapport à la première requête, on en déduit la non-conformité par rapport à la seconde.

3. Les requêtes prioritaires sont celles possédant des *annotations plus spécifiques* qui décrivent des exigences d'application plus strictes. Par exemple, pour vérifier la conformité d'un bâtiment public, certaines requêtes destinées aux ERP<sup>5</sup> sont prioritaires sur celles destinées aux IOP<sup>6</sup>.

C'est sur la base de ces règles expertes que nous avons développé un algorithme d'ordonnancement des appariements des requêtes de conformité pour le raisonnement. Ses principales étapes sont les suivantes :

1. ordonner toutes les requêtes selon le contexte d'application et sélectionner celles correspondant au choix de l'utilisateur ;
2. ordonner et sélectionner selon le (sous)domaine d'application ;
3. ordonner selon le type d'élément à vérifier et proposer les requêtes correspondant *probablement* au choix de l'utilisateur (e.g. si un utilisateur souhaite vérifier une « porte », il faut lui proposer les requêtes concernant (i) un élément de type « porte » (classe primitive *IfcDoor*), (ii) les sous classes de *IfcDoor*, (iii) tous les éléments/classes définies qui peuvent être classifiés comme une « porte » : « entrée », « passage », etc.) ;
4. pour chaque classe de requêtes, trouver des textes « consolidés » (la consolidation consiste à intégrer dans le texte de base tous les textes modificateurs et/ou complémentaires) : les textes « consolidés » peuvent être trouvés dans les références du texte initial ;
5. vérifier l'*applicabilité* de la requête, e.g. un texte réglementaire peut être applicable dans un certain délai à partir de sa date de parution au Journal Officiel<sup>7</sup> ;
6. ordonner les requêtes au sein de la même classe (e.g. selon le critère de « type de texte réglementaire ») ;
7. envoyer chaque *classe* de requêtes ordonnées au module de validation par projection. En cas d'échec, la vérification est terminée et les requêtes des classes suivantes ne sont pas envoyées au module de validation par projection (sans l'intervention d'un utilisateur).

---

<sup>5</sup> Etablissement Recevant du Public

<sup>6</sup> Installations Ouvertes au Public

<sup>7</sup> Le Journal Officiel publie les textes législatifs et réglementaires de la République Française

### 4.3 Interprétation des résultats en termes de contrôle de conformité

Il est crucial dans le contrôle de conformité d'un projet d'en expliquer le résultat à l'utilisateur, en particulier dans le cas d'une conclusion de non conformité de ce projet.

Aussi, la liste des requêtes ayant échoué est générée. Ces requêtes ont échoué soit parce qu'elles ne se projettent pas sur le graphe du projet de construction, soit parce que leur échec peut être déduit automatiquement grâce au raisonnement expert. Il s'agit de requêtes (i) dont le *graph pattern* est plus général que d'autres qui ont déjà échoué ou (ii) dont l'annotation décrivant la condition d'application est plus générale que d'autres dont l'appariement a déjà échoué.

Dans le cas particulier d'un échec dû à l'absence de certaines connaissances dans l'annotation du projet pour réaliser l'appariement (e.g. la représentation d'un projet de construction ne possède aucune information sur les commandes d'ascenseur ce qui empêche de vérifier la conformité du projet par rapport à une requête définissant la hauteur maximale des commandes), il est utile de fournir à l'utilisateur les éléments de description manquants, c'est-à-dire les sous-graphes du *graph pattern* de la requête qui ne peuvent pas être appariés.

L'aboutissement du processus de contrôle de conformité est la génération d'un rapport de conformité qui conclut les résultats de validation par projection en les groupant par classes de requêtes. Les annotations des requêtes sont encore ici exploitées pour la structuration et la présentation des résultats. Pour chaque requête, le rapport indique si elle a réussi ou échoué. En cas d'échec, il indique les sources de la non-conformité (non projection ou déduction automatique basée sur le raisonnement expert), les éléments causant la non-conformité et/ou les insuffisances de l'annotation du projet : quel(s) élément(s) de l'annotation du projet de construction est (sont) responsable(s) de l'échec, c'est-à-dire empêche(nt) l'appariement.

## 5 C3R : le modèle et le système

Afin de valider notre modèle, nous développons le système C3R<sup>8</sup> (Fig. 3). Les principaux modules du système C3R sont les suivants

1. Un module d'acquisition des connaissances qui se compose comme suit :
  - a. un module de (semi)formalisation des requêtes de conformité ;
  - b. un module d'annotation des requêtes de conformité ;
  - c. un module d'extraction de la représentation d'un projet de construction *utile* au processus de contrôle.
2. Un module d'organisation de la base des requêtes.

<sup>8</sup>

Contrôle de Conformité en Construction à l'aide d'un Raisonnement

3. Un module d'acquisition des méta-connaissances dont l'objectif est de formaliser des règles expertes.
4. Un module de validation par projection (basé sur le moteur CORESE).
5. Un module d'analyse des résultats et de génération d'un bilan de conformité.

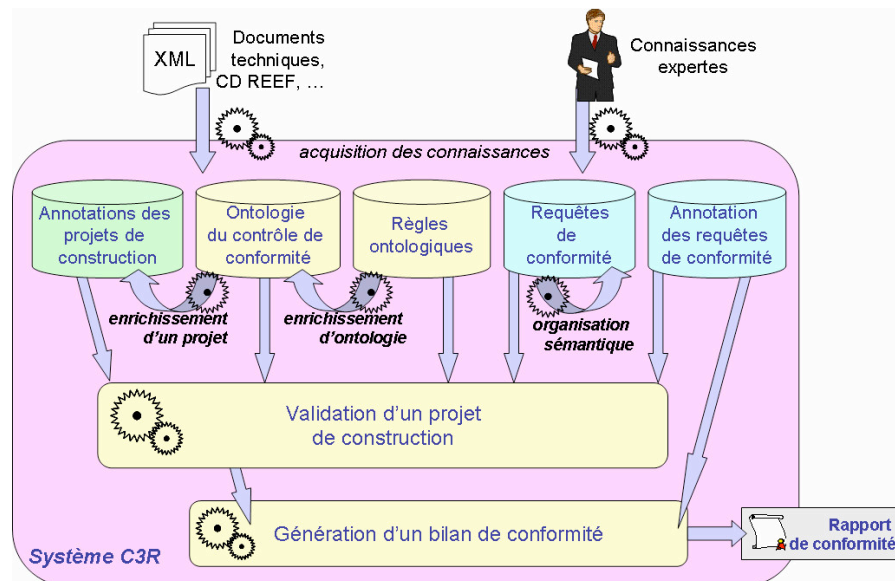


Fig. 3 – Vue dynamique du modèle C3R

Chaque module fait l'objet de tests dédiés auprès d'experts du domaine afin d'être intégré dans le prototype.

## 6 Conclusion

Nous avons présenté le modèle C3R pour le contrôle semi-automatique de la conformité d'un projet de construction par rapport à un ensemble de normes techniques du bâtiment. Nous adoptons une approche ontologique pour la représentation et l'extraction de connaissances utiles aux raisonnements mis en oeuvre pour automatiser le contrôle de conformité des projets de construction. Le système qui implémente C3R repose sur les langages et techniques du web sémantique et assure ainsi l'interopérabilité des connaissances manipulées et des résultats obtenus. Notre modélisation prend en compte dans le processus de contrôle de conformité des connaissances expertes. Ces connaissances sont modélisées sous la forme d'annotations des requêtes représentant les normes techniques et sous la forme d'heuristiques dans les algorithmes mis en oeuvre dans le processus de contrôle. Les

annotations sont également exploitées pour établir un bilan de conformité qui interprète les résultats de l'appariement entre les requêtes de conformité et l'annotation d'un projet de construction en termes de conformité, en particulier en cas d'échec.

Le développement et l'évaluation d'un prototype C3R est en cours : un premier prototype existe. Il n'intègre pas encore les définitions de concepts dans l'ontologie de façon à permettre l'enrichissement des annotations des projets. Nous adoptons une approche incrémentale de développement afin que chaque nouveau module permettant d'augmenter l'efficacité du processus de contrôle fasse l'objet de tests auprès d'experts du domaine.

## Références

- ARANDA-MENA G. & WAKEFIELD R. (2006). Interoperability of building information – Myth or reality? In PROC. OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRODUCT AND PROCESS MODELING (ECPPM'2006). p. 127-134. Valencia, Spain.
- BAGET J-F. (2005). RDF Entailment as a Graph Homomorphism. In PROC. OF THE 4TH CONFERENCE ON INTERNATIONAL SEMANTIC WEB CONFERENCE (ISWC'2005), Galway (EI), LNCS 3729, Springer Verlag, p. 82-96
- BELL H. & BJORKHAUG L. (2006). A buildingSMART Ontology. In PROC. OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRODUCT AND PROCESS MODELING (ECPPM-2006). p. 185-190. Valencia, Spain.
- BERNERS-LEE T. (2001). Reflections on Web Architecture. Conceptual Graphs and the Semantic Web. Available at <http://www.w3.org/DesignIssues/CG.html>
- CHEIN M. & MUGNIER M-L. (1992). Conceptual Graphs : Fundamental Notions. *Revue d'Intelligence Artificielle*, volume 6-4, p. 365-406.
- CORBY O. & FARON-ZUCKER C. (2007). Implementation of SPARQL Query Language based on Graph Homomorphism. In PROC. OF THE 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPTUAL STRUCTURES (ICCS'2007), SHEFFIELD, UK, LNCS, SPRINGER VERLAG
- CORBY O., DIENG-KUNTZ R., FARON-ZUCKER C. & GANDON F. (2006). Searching the Semantic Web: Approximate Query Processing based on Ontologies. *IEEE Intelligent Systems* 21(1.)
- FARON-ZUCKER C., YURCHYSHYNA A., LE THANH N. & LIMA C (2008). Une approche ontologique pour automatiser le contrôle de conformité dans le domaine du bâtiment. In ACTES DES 8EMES JOURNEES EXTRACTION ET GESTION DES CONNAISSANCES, EGC'2008, RNTI-E11, CEPADUES, p. 115-120. Sophia Antipolis, France
- DIBIE-BARTHELEMY J., HAEMMERLE O. & SALVAT E. (2004). Validation de graphes conceptuels. In ACTES DES 4EMES JOURNEES EXTRACTION ET GESTION DES CONNAISSANCES, EGC'2004, RNTI-E2, CEPADUES, p. 135-146. Clermont-Ferrand.
- LIMA C., YURCHYSHYNA A., ZARLI A., VINOT B. & STORER G. (2006). Towards a Knowledge-based comprehensive approach for the management of (e)regulations in Construction. In PROC. OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRODUCT AND PROCESS MODELING (ECPPM-2006). p. 553-560. Valencia, Spain
- SOWA J.F. (1984). Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine, ADDISON-WESLEY.
- YURCHYSHYNA A., FARON-ZUCKER C., LE THANH N., LIMA C. & ZARLI A. (2007). Towards an Ontology-based Approach for Conformance Checking Modelling in Construction. In PROC. OF « 24TH W78 CONFERENCE – BRINGING ITC KNOWLEDGE TO WORK », p. 195-202. Maribor, Slovenia.